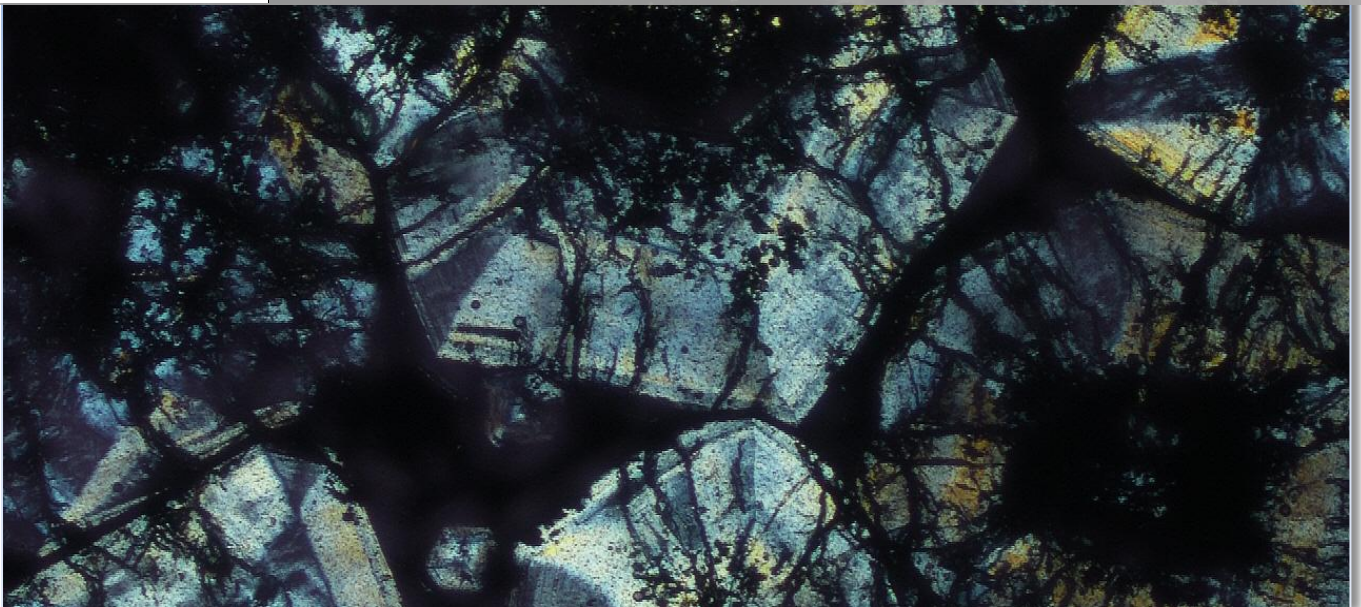


Caracterització i gènesi de la mineralització del Socau (Vallcàrquera, El Figaró)



Alumne: Gerard Casado i Aijón

Tutora del Treball: Mercè Corbella Cordoní

4t de Geologia, Curs 2013 - 2014

Índex

1. Resum	3
2. Introducció	3
3. Material i metodologia	5
4. Resultats	6
5. Discussió	13
6. Conclusions	17
7. Bibliografia	17
8. Agraïments	18
9. Annex	18

1. Resum

El parc natural del Montseny es caracteritza per contenir dipòsits minerals de gènesis diverses entre els que podem comptar la mineralització de la Mina del Socau, situada al costat del municipi de Vallcàrquera. Aquesta és una mineralització singular per la seva paragènesis mineral, que no té símls exactes descrits a Catalunya i que d'altra banda no ha estat estudiada mitjançant mètodes analítics ni descriptiva acurada anteriorment. Es tracta d'un dipòsit d'skarn del Permià format durant l'orogènia Herciniana pel contacte metasomàtic d'una intrusió porfírica, que va donar lloc a una mineralització de granats de la sèrie grossulària-andradita, junt amb un posterior fluid en fase retrogradant que va precipitar magnetita.

- Resumen

El parque natural del Montseny se caracteriza por contener depósitos minerales de génesis diversas entre los que podemos contar la mineralización de la Mina del Socau, situada al lado del municipio de Vallcàrquera. Esta es una mineralización singular por su paragénesis mineral, que no tiene símiles conocidos en Cataluña y que por otro lado no ha estado nunca estudiada mediante métodos analíticos ni descriptiva detallada. Se trata de un depósito de skarn del Pérmico formado durante la orogenia Hercínica por el contacto metasomático de una intrusión porfídica, que dio lugar a una mineralización de granates de la serie grosularia-andradita, junto con un posterior fluido en fase retrogradante que precipitó magnetita.

- Abstract

The Montseny natural park is characterized for hosting mineral deposits from a variety of genetic processes. Among them, the Mina del Socau mineralization, found by the Vallcàrquera township, as a good example. This is a singular mineralization due to its mineral paragenesis, that has no known comparison in Catalonia and has never before been studied by means of neither analytical methods nor detailed description. It is in fact a skarn deposit from the Permian formed during the Hercynian Orogeny by the metasomatic contact of a porphyric intrusions, giving place to a mineralization of the grossular-andradite series garnets, with a later fluid on retrograde phase that precipitated magnetite.

2. Introducció

La Mina del Socau és una petita explotació minera de ferro que va estar en funcionament des del 1880 fins el 1895 (*Gómez A., 2005*). Aquesta mina està situada a Solella del Socau, en paral·lel amb el Torrent del Socau, que arriba 700 metres vall avall a desembocar en la Riera de Vallcàrquera, la qual passa pel perímetre de la població de Vallcàrquera, situada a 1,7 quilometres de Figaró-Montmany. (Fig. 1)

Aquesta mina des que va ser abandonada no ha despertat l'interès acadèmic i ha quedat com a vestigi històric d'una de tantes mines oblidades. Tot i així aquelles persones que han visitat la mina han arribat a descriure part de la mineralogia. Els minerals exposats han estat granats i magnetita; davant d'una mineralogia tan simple i peculiar, val la pena dur a terme un estudi analític tan complet com sigui possible. Per aquest motiu, l'objectiu d'aquest treball es basa en poder descriure la mineralització, i elaborar un model genètic mitjançant l'estudi de la geologia

regional i la comparació amb altres jaciments que en comparteixin característiques, degut a que no hi ha cap mena d'estudi previ sobre aquesta mineralització en concret.



Fig 1.: Entrada a la Mina del Socau, on es pot apreciar el color rogenc dels pòrfirs àcids

El context geològic regional situa la mineralització en materials Paleozoics de l'Ordovicià. Forma part de la seqüència que conforma el sòcol Paleozoic en aquesta regió. Els materials més antics que afloren són Cambro-Ordovicians, unes pissarres micacítiques i sorrenques amb intercalacions de quarzites i calcàries. El segueix l'Ordovicià Superior, del Caradocià-Ashgil·lià, que és el que conté la mineralització, i està formada per pissarres argiloses amb intercalacions de quarzites, calcàries i bretxes. Posteriorment es troba el Silurià Inferior, amb fil·lites i sericites, i pissarres ampel·lítiques; i el Silurià Superior, que conté calcàries i pissarres. El Devonian segueix amb la tendència de contenir carbonats impurs. L'últim material Paleozoic que trobem són lutites i gresos del Carbonífer, ja que no hi ha indicis del Permià, i en canvi s'observa com els materials mesozoics del Triàsic es dipositen discontinuament sobre els materials plegats i deformats del Paleozoic, presentant subhoritzontalitat dels estrats. El Triàsic està ben representat per la seqüència clàssica on es poden definir els gresos vermells del Bundsandstein, les calcàries del Muschelkalk i el Keuper. Els massissos terciaris se situen a nord i nord-oest de la posició de la mineralització, o per defecte, de la població de Vallcàrquera. Cap el sud, sud-est la successió Paleozoica pateix repeticions degut a falles i encavalcaments, producte de l'Orogènia Herciniana. Tots els materials Paleozoics es veuen afectats per una família de dics de pòrfirs àcids, intruïts durant el Carbonífer i el Permià, amb un origen comú amb tota l'activitat magmàtica que va generar l'orogènia al llarg de les Serres Costaneres Catalanes. Els materials Paleozoics es veuen afectats al sud-est per una estructura més moderna, la Falla del Vallès-Penedès, una important falla lística extensional de l'Oligocè, que talla aquests materials, constituint la Serralada Prelitoral. (Fig 2.)

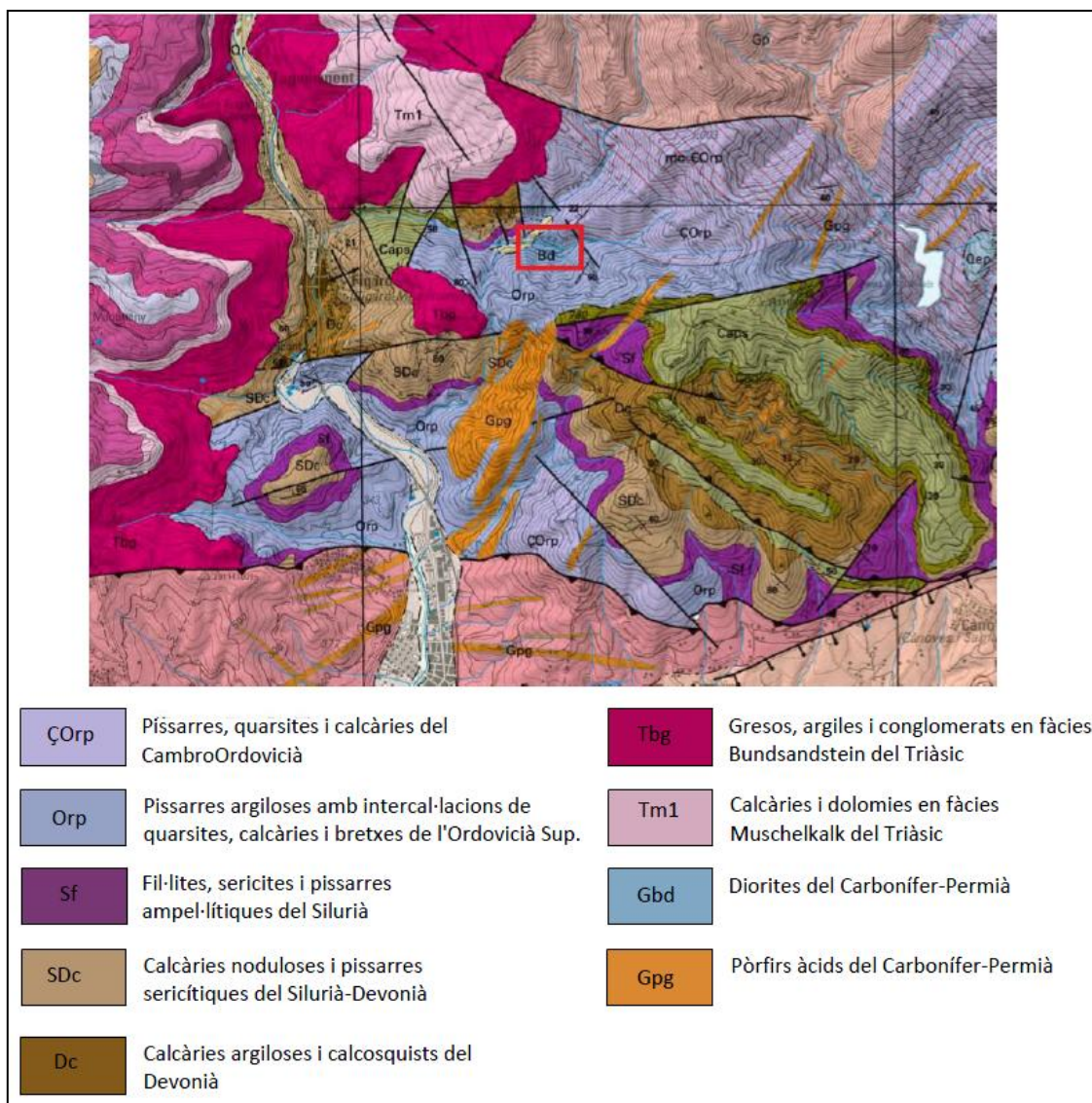


Fig. 2: Mapa geològic regional de la zona del Figaró-Montmany. “Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)”.

3. Materials i metodologia

Per tal de poder assolir els objectius del treball primer s’ha dut a terme un treball de camp per tal d’identificar la localització de la mina i descriure les litologies associades a la zona de la mineralització, així com per elaborar una tasca de mostreig. El material del que s’ha disposat per aquest treball ha constatat de mostres recollides personalment in situ de la Mina del Socau i un parell de mostres cedides pel Departament de Petrologia del Museu de Ciències Naturals de Barcelona. Les mostres del Socau comprenen 48 exemplars, 34 dels quals són mostres de la mineralització recollides fora de la mina, deixada com a rebuig pels miners, i 4 mostres de roques encaixants. Les restants 10 mostres pertanyen a la mineralització i roques in situ dins la mina. Les mostres cedides pel Museu de Ciències Naturals de Barcelona constitueixen 2 làmines primes d’una de les roques encaixants (PR-15621-LP01, PR-15622-LP01). Les mostres de mà van ser recollides amb la màxima homogeneïtat i representativitat que ofereix l’aflorament, mostrant el màxim rang de variació entre els seus diferents punts.

De 3 de les mostres de mà que presenten mineralització (MS001-011-025) se'n van fer làmines primes i sense cobrir, per tal de poder dur a terme l'estudi mitjançant microscòpia petrogràfica, tant amb nícols paral·lels com amb nícols creuats, i amb llum transmesa i reflectida, de la mineralogia i textures observables. A més del microscopi petrogràfic, també es va fer servir un escàner digital amb papers polaritzadors per tal de prendre una imatge completa de les làmines. De la mateixa manera es va dur a terme un estudi detallat i anàlisi elemental d'una mostra (MS011) mitjançant microscòpia electrònica d'escombrat (SEM)

Dues mostres han estat analitzades també per difracció de raigs X. Una de les mostres (MS012) pertanyent al rebuig de l'exterior de la mina i l'altra (MSI010) pertanyent a l'interior de la mina. El procés es va dur a terme polvoritzant part de les mostres en un morter d'àngata i fent pastilles per la difracció posterior per tal de determinar en el rang del possible les espècies concretes representades en els granats.

4. Resultats

- Roques encaixants de la Mina del Socau:

Durant el procés de recoll·lecta de dades al camp s'ha pogut estudiar la geologia de la zona i la cartografia de les litologies presents (Fig. 3), tot i no poder aprofundir en estructura per impossibilitat del terreny, identificant a més dues roques plutòniques mal situades en el mapa geològic publicat a el Institut Geològic de Catalunya (IGC). Els materials que encaixen tant la mineralització com els cossos ignis corresponen a una metapel·lita argilosa amb intercalacions de quarsita criptocristal·lina irregulars que no solen passar dels 10 centímetres d'amplada (Fig. 4). Aquestes pissarres del Paleozoic, d'acord amb el mapa del IGC, pertanyen a l'Ordovicià Superior, al Caradocià-Ahgilià.

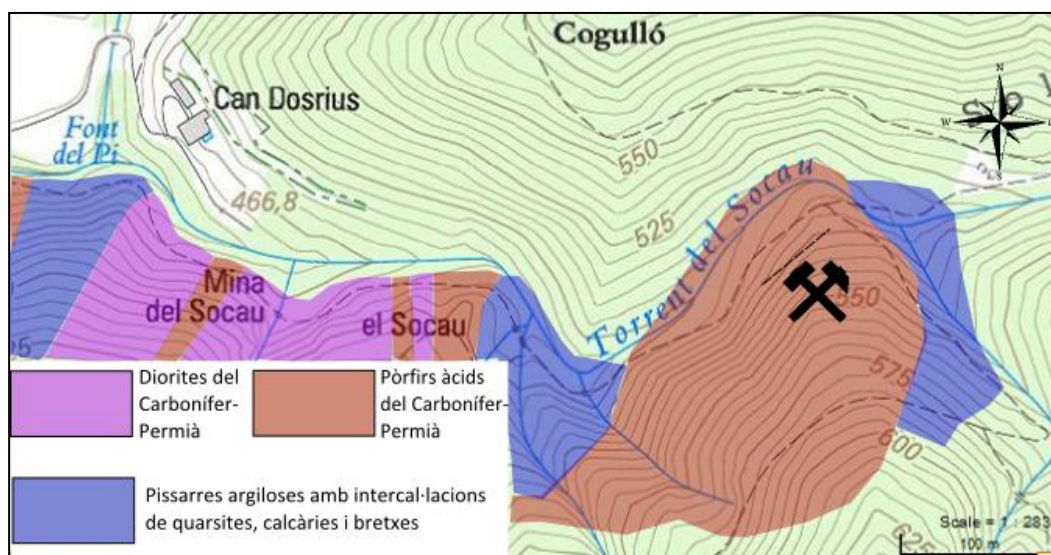


Fig. 3: Cartografia geològica de detall mitjançant topogràfic. "Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC)".

Els cossos ignis corresponen respectivament a un granitoide i a un pòfir. El granit està format per cristalls de mica, feldspat i quars observables a ull nu, de fins a 2 mil·límetres, amb una textura equigranular (Fig. 5A), i a un pòfir àcid amb la matriu tenyida de vermell, que conté

grans cristalls de feldspat de fins a 1 centímetre d'allargada (Fig. 5B). Aquestes dues roques ígnies es s'observen al camp intercalades l'una amb l'altra i totes dues encaixades en la metapel·lita ordovícica. Donada aquesta condició, i a falta de dades analítiques que poguessin corroborar l'edat de les roques ígnies, no es pot assegurar quina de les dues roques va intruir aquests dos materials, sinó que es sempre amb la metapel·lita on hi ha els contactes. Així doncs l'únic fet determinant en aquest punt és que les dues són posteriors a l'Ordovicià.



De esquerra a dreta: **Fig. 4:** Pissarra de l'Ordovicià Superior amb una intercalació de quarsita visible. **Fig. 5A:** Diorita intrusiva del Carbonífer-Permià. **Fig. 5B:** Pòrfir àcid amb cristalls de feldspat d'1 centímetre.

La Mina del Socau és una explotació petita que consta d'una galeria principal de 28 metres de llargada gairebé en línia recta, i amb una orientació de 133° Sud, Sud-est. Trobem la primera ramificació a 15 metres de l'entrada, amb una nova galeria perpendicular de 15 metres i una altra galeria annexionada a aquesta també perpendicular a 7 metres, que té una longitud de 12 metres i transcorre quasi paral·lela a la galeria principal a 120° Sud, Sud-est. Seguint la galeria principal trobem una petita ramificació de 4,5 metres en perpendicular a 21 metres de l'entrada de la mina. Tot el recorregut és en pla excepte per l'últim tram de la segona galeria que ascendeix uns graus. L'amplada de la volta és de 1,5 metres en gairebé tot el recorregut, així com uns també gairebé constants 2 metres d'alçada.(Fig. 6)

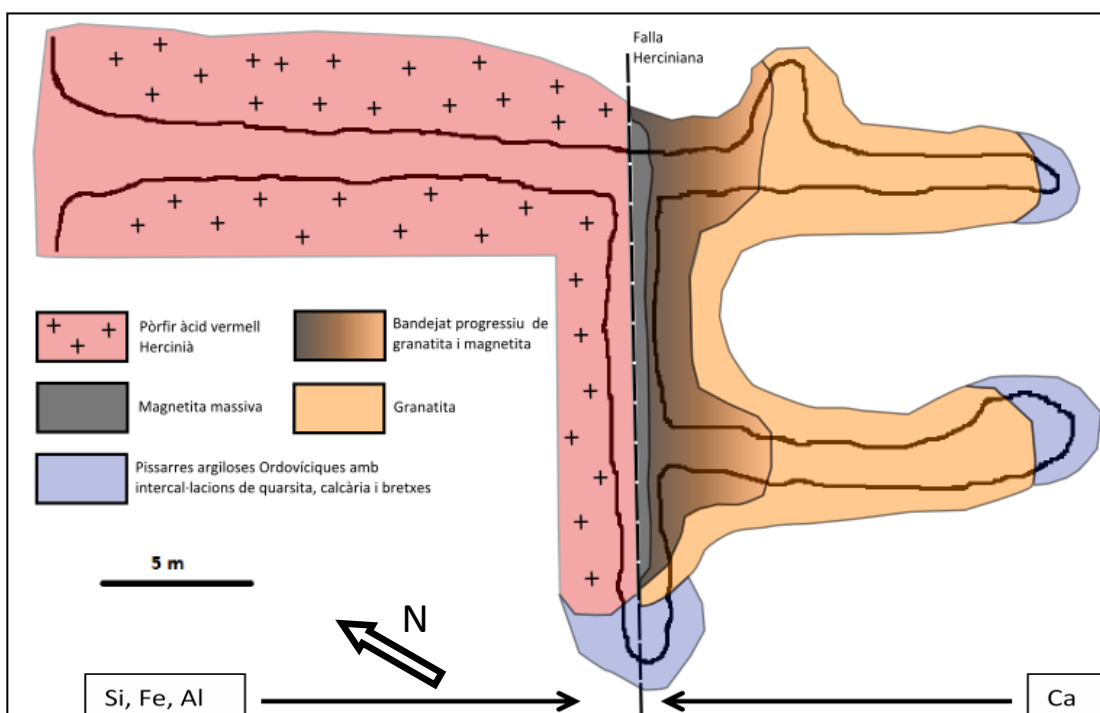


Fig. 6: Esquema de la mina amb la litologia i mineralització, assenyalant la falla que la creua.

A nivell petrogràfic i estructural observem que tota la zona de l'entrada, i tota l'àrea circumdant a la mina en uns 150 metres o més a la rodona, estan constituïts pel pòrfir vermell, força alterat en alguns punts per acció de les aigües meteòriques. En el moment a partir del qual trobem la primera bifurcació de la galeria, just al centre del sostre de la volta hi ha un canvi de material que posa en contacte el pòrfir vermell amb la mineralització, i a mesura que ens desplacem per aquesta segona galeria perpendicular, el contacte es deixa de donar amb el pòrfir per passar a fer-ho amb la metapel·lita. Just en el contacte hi ha un material argilós i fosc molt plàstic i maleable que deu correspondre a la farina d'una falla. Aquesta falla comparteix la mateixa orientació que la galeria, indicativa de que les explotacions portades a terme pels miners van seguir aquesta falla fins el final de la galeria, però no s'hi pot observar el cabussament perquè no està present en les parets de la galeria i el terra està tapat per material terrós compactat; de totes maneres el fet que no la trobem en les parets ens indica que com a mínim és subvertical. El segon fet destacable resideix en les concentracions de la mineralització; just al costat de la falla apareix magnetita massiva amb alguns pocs i petits granats disseminats dins d'aquesta matriu, i a mesura que ens allunyem de la falla seguint la galeria principal la quantitat de magnetita va disminuint i en canvi va augmentant la concentració de granats, fins acabar obtenint una granatita completa amb granulometries de fins a 1,5 mil·límetres. En els punts intermedis on les concentracions d'ambdós minerals són més proporcionals trobem textures bandejades de granats i magnetita, amb bandes que oscil·len entre 1 centímetre i mig mil·límetre.

La mineralogia així com les textures han resultat similars en tots els casos, variant sobretot en la textura de la roca resultant degut a la presència del bandejament. Els minerals propis de la mineralització es descriuen a continuació en ordre d'abundància:

Magnetita: Es presenta en hàbit massiu la major part de les vegades, criptocristal·lí, però en alguns casos pots presentar microcristalls de fins a 0,75 mil·límetres octaèdrics, i fins i tot s'arriba a apreciar algun cristall rombododecaèdric amb octaedre dominant. La magnetita s'associa estretament amb els granats, on es pot apreciar que la magnetita és posterior degut a textures d'erosió en les cares del granat, així com fractures en els granats i trossos de cristall englobats per ella. La magnetita i els granats també es relacionen texturalment formant bandejats que poden ser molt grollers i heterogenis o bé fins i paral·lels, segons la distància a la falla. A mesura que ens allunyem d'ella la quantitat de magnetita va disminuint progressivament, així com també aprimant-se les bandes. Tot i que pot no ser molt evident la seva identificació, en llum reflectida amb microscopi petrogràfic els òxids i hidròxids de ferro es formen en els plans de debilitat de la magnetita, que són les seves cares, i defineixen així també l'octaedre. (Fig. 7)

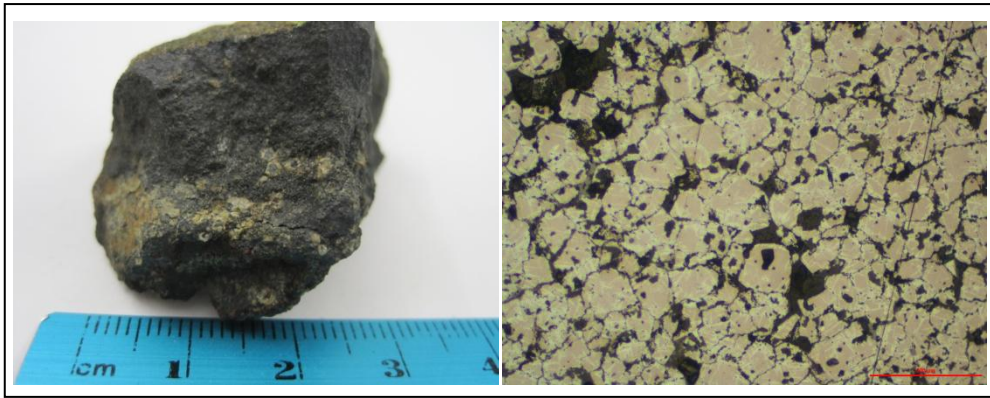


Fig. 7: A l'esquerra una mostra de mà de magnetita envoltant alguns granats dispersos. A la dreta una imatge amb llum reflectida, on s'intueixen els octaedres i s'observen els òxids.

Granat: Presents com agregats microcristal·lins en forma de bandejat amb la magnetita, o també en agregats en hàbit dodecaèdric que conformen granatites, presenten en mostra de ma diverses morfologies; la simple, la rombododecaèdrica, i algunes de compostes com un trapezoide amb rombododecaedre dominant. Aquests granats es presenten en dues fases diferenciades. La primera fase presenta zonacions que segueixen la sèrie grossulària-andradita, més ric en grossulària, i per tant en alumini. Aquesta primera fase de granat exhibeix a més anisotropia, indicatiu de que ja no pertany al sistema isomètric degut a la presència de components hidroxils en la seva estructura. També presenta macla polisintètica dodecaèdrica. La segona fase de granat correspon a una andradita isòtropa, sense zonació ni macles, que se separa perfectament de la fase de granat anterior, indicant un pols de fluid diferent, ja que a més aprofita la grossulària per nuclear-se, però després creix asimètricament, exposant les cares als vèrtex de la grossulària. (Fig. 8)

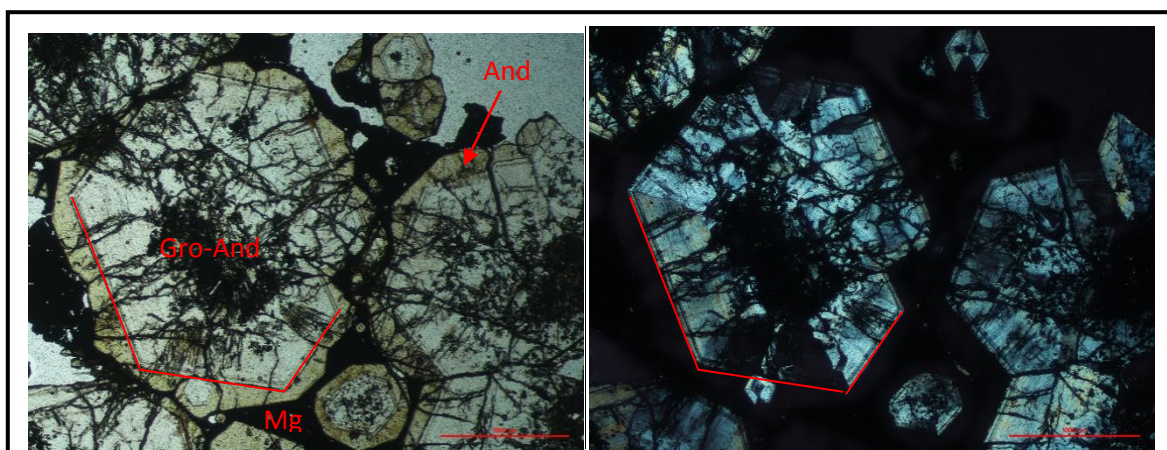


Fig. 8: La mateixa imatge de granats amb magnetita, a l'esquerra amb nícols paral·lels i a la dreta amb nícols creuats. Es pot observar molt clarament la separació entre les dues fases de granats, així com la zonació i la macla polisintètica dodecaèdrica.

Per tal d'identificar les diferents espècies de granat presents i estudiar el seu comportament elemental s'han aplicat tècniques analítiques:

Els anàlisis mitjançant difracció de raigs X duts a terme a les mostres (MS012, MSI010) han donat com a resultat la presència de pics representatius a les mineralogies proposades. En la mostra (MS012) els pics han donat una mineralogia corresponent a quars i grossulària ($\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$), mentre que a la mostra (MSI010) els pics concorden amb una mineralogia d'andradita alumínica ($\text{Ca}_3\text{Fe}^{3+}_2((\text{Al},\text{Si})\text{O}_4)_3$). Cal destacar que al tractar-se d'espècies relatives a la família dels granats, els pics resultants poden concordar amb més d'una espècie d'aquesta família, com per exemple varietats d'una mateixa espècie que dugui titani, i és per això que en aquesta última mostra també s'engloba el grup dels granats en general. (Fig. 10)

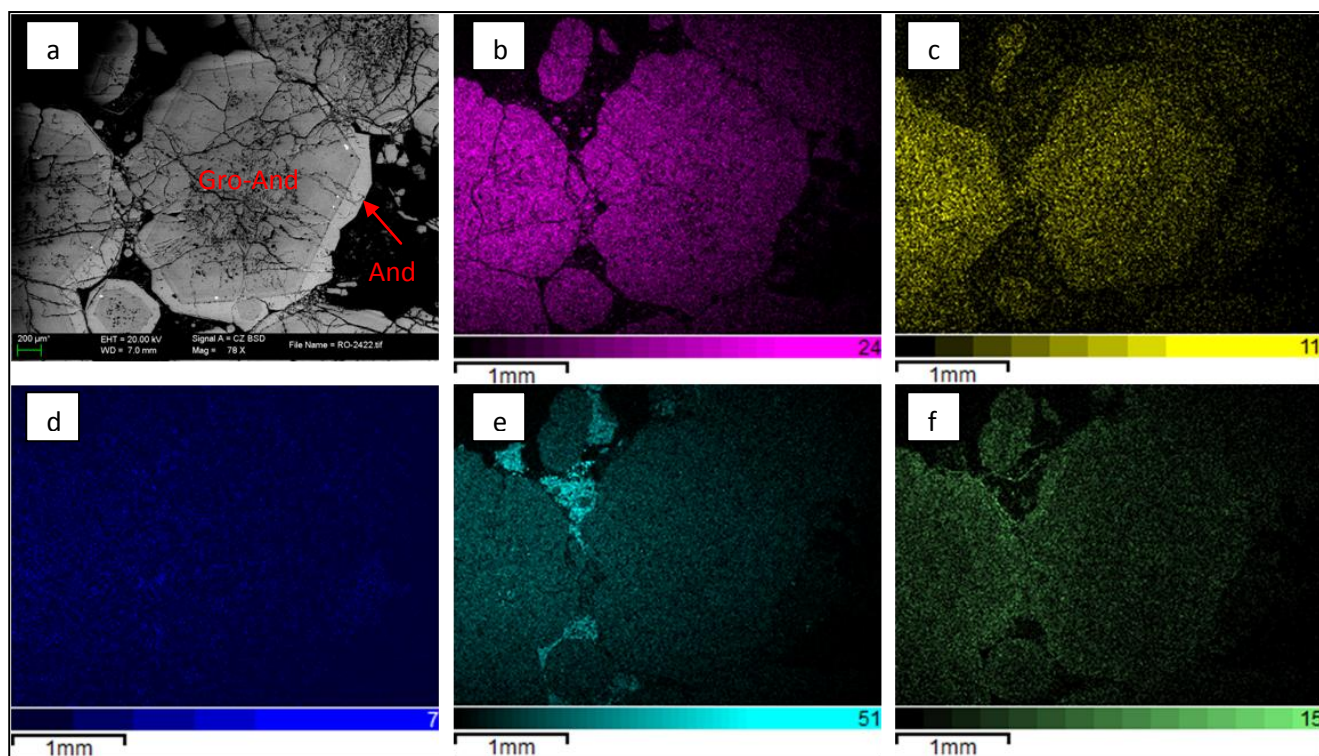


Fig. 9: Mapping elemental d'uns granats amb les dues fases, on s'aprecia la concentració d'alumini i ferro segons l'espècie mineral. A) Fotografia original amb microscopi electrònic; B) Filtre de calci; C) Filtre d'alumini; D) Filtre de magnesi; E) Filtre de silici; F) Filtre de ferro.

Mitjançant l'anàlisi de SEM aplicat a la mostra (MS011) s'ha determinat la concentració elemental en una parcel·la representativa de la mostra (Fig. 9) on s'hi observa les dues fases de granat, junt amb quars intersticial. Per veure com es distribueixen els elements segons les fases i dins la zonació pròpia de la primera fase de granat s'ha dut a terme un *mapping* elemental i un parell d'anàlisis de la zonació. Els resultats ens indiquen que la fase de granat que correspon a l'andradita és la més externa, i per tant la que mineralitza posteriorment, on es concentra el ferro. Dins la zonació no s'arriben a observar uns canvis molt bruscs en la composició, sinó que es presenta com a subtils variacions en la concentració dels elements presents durant la formació, com una petita però apreciable caiguda en el contingut d'alumini a la meitat del seu creixement (Fig. 11). A part, s'observen unes petites concentracions de manganès que no es poden associar directament a la mineralització primària, així com una concentració de magnesi força constant en tota la mostra, però que no té mineralogia representativa.

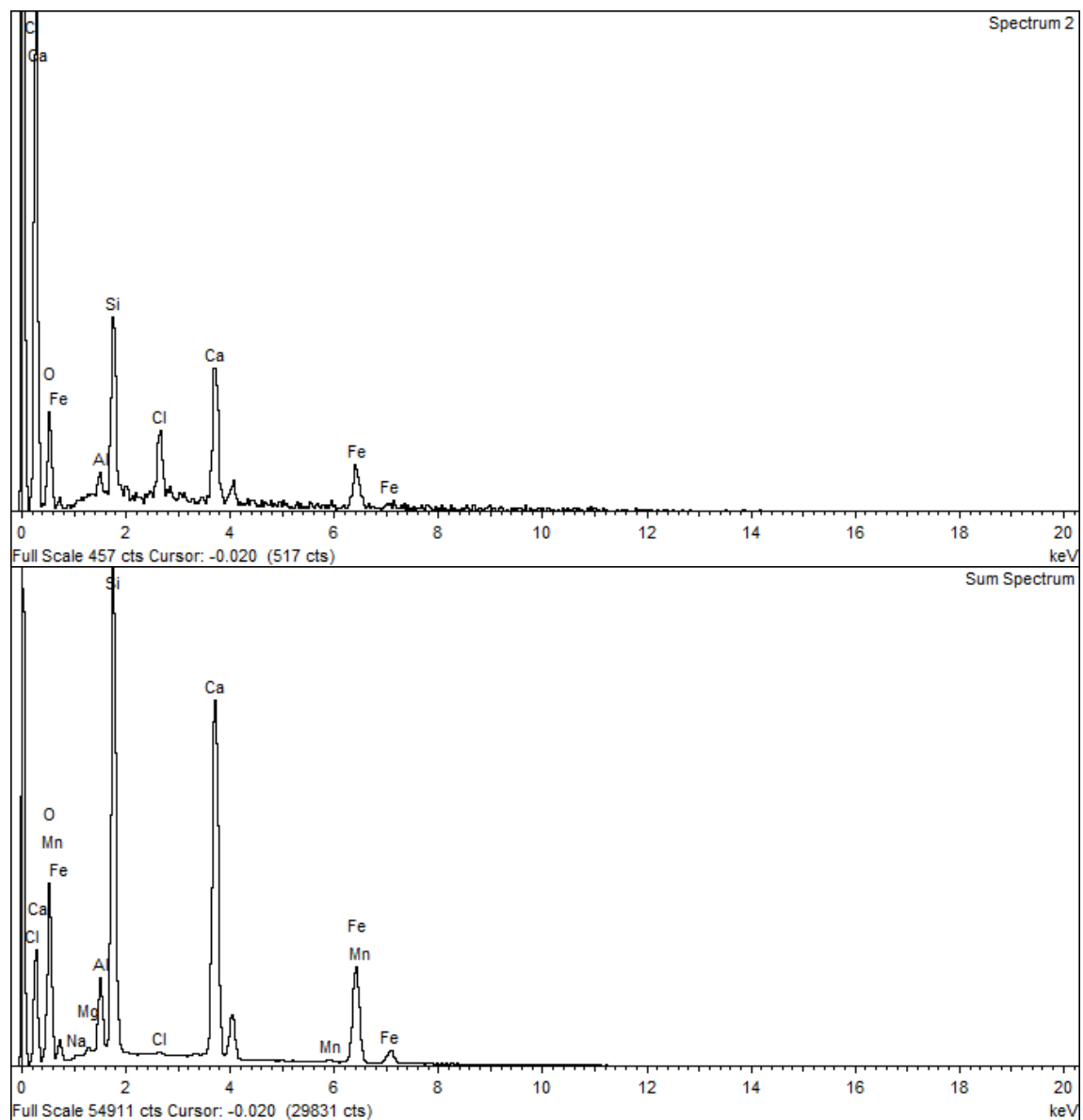


Fig. 11: Anàlisis elementals amb SEM, on es pot apreciar la caiguda d'alumini de la zonació en el primer gràfic, i com hi ha variacions tant de ferro i alumini, pel fet de ser la sèrie grossulària-andradita.

Epidota: Es presenta com a microcristalls situats vora el nucli de les grossulàries (Fig. 12). Tenen hàbit prismàtic en els cristalls més grans, de menys d'1 mil·límetre, i hàbit acicular en aquells més petits. Per la mida reduïda només mostren una lleugera tonalitat verdosa, però sí presenten certes alineacions en l'eix llarg, i la seva composició ($\{Ca_2\}\{Al_2Fe^{3+}\}(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)$) i paragènesis habitual amb granats d'aquesta sèrie el fan fàcil d'identificar. Per tant, es mostra com un mineral de reemplaçament hidratat dins el nucli de la grossulària, indicatiu de que hagi estat aprofitant els components hidroxil del granat per créixer.

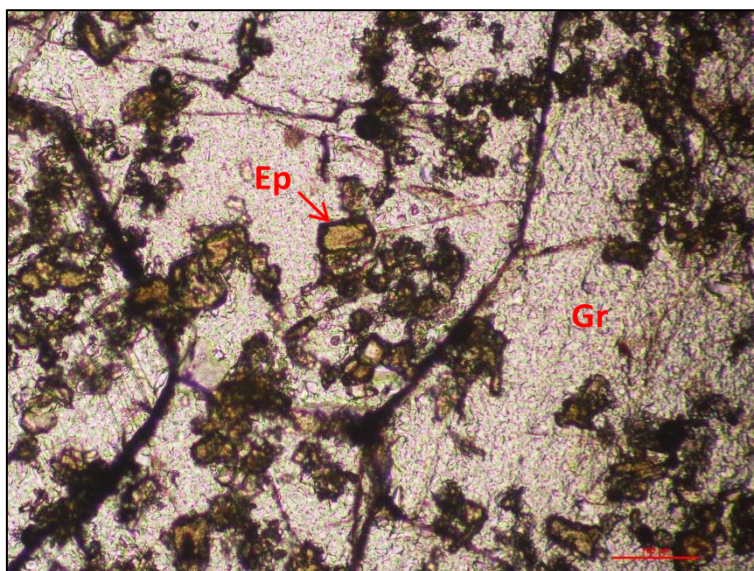


Fig. 12: Cristalls d'epidota substituint la fase de granat corresponent a la sèrie Grossulària-Andradita.

Quars: De textura anhedral, es presenta com a masses fracturades amb deformació interna que generen extinció ondulant, fins i tot en disposició de ventall. Aquesta deformació interna és única del quars ja que cap altre mineral la presenta. Al no cristal·litzar idiomòrficament, es dedica a col·locar-se entre els granats, produint una lleugera corrosió alguns cops per les vores dels cristalls (Fig. 13)

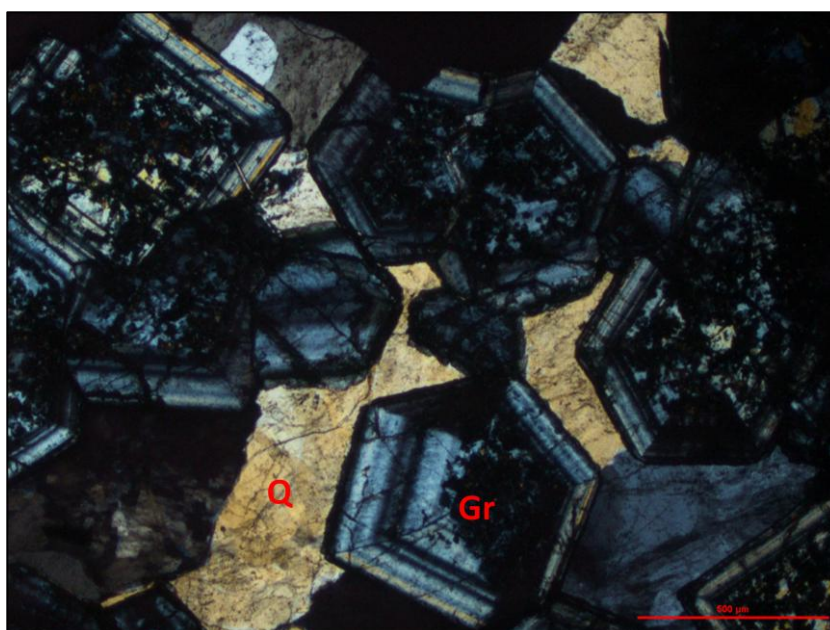


Fig. 13: Quars anhedral col·locat entre els cristalls de granat.

Òxids i Hidròxids de ferro: Possiblement limonita i goethita, són minerals d'alteració supergènica gràcies a les aigües meteòriques amb les que ha entrat en contacte la magnetita. En els llocs on els granats estan tocant la magnetita, és possible que la vora del granat estigui tenyida de vermell pels òxids, però sobretot s'observen molt bé en mostra de mà o amb llum reflectida al microscopi petrogràfic, on es veuen creixent per sobre de la magnetita, aprofitant els plans de debilitat que són les seves cares cristal·lines.

5. Discussió

Segons les dades obtingudes al camp, es contempla que aquesta mineralització s'hagués format gràcies a la presència de la falla; un fluid hidrotermal portador de metalls hauria ascendit per aquest punt i hauria reaccionat amb les roques ordovíciques substituint-ne la mineralogia inicial per aquesta nova

Segons els resultats obtinguts de les diferents observacions i anàlisis, podem corroborar que l'anisotropia en granats ve donada per la presència de components hidroxils que s'instal·len en l'estructura tetraèdrica dels cristalls situats en l'escorça terrestre (Rossman i Aines, 1991; Grew *et al.* 2013). En aquest cas el component hidroxil pot reduir la simetria isomètrica del granat, que canvia les seves propietats cristal·logràfiques de isòtrop a anisòtrop. Això també explicaria la presència de l'epidota creixent a l'interior de la grossulària, que conté l'hidroxil, i pel qual es poden generar aquests nous silicats hidratats com a inclusions de reemplaçament de condicions pressió-temperatura més baixes. Aquest component hidroxil podria haver vingut del mantell, on hi trobem més d'un 0,1% en pes com a constituent traça (Bell i Rossman, 1992; Mookherjee i Karato, 2010). El creixement de granats durant el metamorfisme també sol comportar la deshidratació de minerals hidratats tals com clorita, amfibols i lawsonita, que són els reactius en moltes reaccions formadores de granats (Spear, 1993; Baxter i Caddick, 2013). Tot i així, per la mineralització del Socau, constituïda per un fluid hidrotermal, la opció més viable i comú és que aquest component hidroxil hagués estat aportat pel mateix fluid, o bé que formés part de la roca encaixant en el cas que hagués contingut aigua.

Mitjançant una comparativa amb altres mineralitzacions de les Serres Costaneres Catalanes, s'observen cossos ignis intruïts als metasediments Paleozoics, desenvolupant aureoles de contacte (Enrique P., 1981). Aquests cossos ignis van intruir a un nivell d'epiplutònic a subvolcànic i van estar acompanyats d'una família de dics amb textura porfírica. Precisament el mapa geològic de l'IGC mostra famílies de dics de pòrfirs àcids a nivell regional que apareixen al Paleozoic de Vallcàrquera, i cap al sud on es troba la successió Paleozoica repetida degut a l'Orogènia Herciniana; tots els dics d'aquesta família presenten una orientació preferent nord-est, sud-oest, i per tant podem arribar a la conclusió que el pòrfir vermell observat seria també un d'aquests dics, justament situat junt amb un cos granític, que s'identifica com a diorita. La deformació Herciniana i els fluids metamòrfics no juguen un paper important en els processos de concentració mineral a les Serres Costeres Catalanes; d'altra banda sí s'observa la seva relació amb les cel·les hidrotermals induïdes per les intrusions granítiques postmetamòrfiques (Ayora C., Soler A., Melgarejo J.C., 1990). En relació amb aquests fluids hidrotermals, dos tipus de dipòsits minerals poden ser diferenciats, skarns i venes, que s'estenen al llarg de les Serres Costaneres Catalanes. Els skarns es produeixen gràcies als fluids hidrotermals que acompanyen a les intrusions ígnies i que formen cel·les

hidrotermals al voltant dels cossos intrusius. Aquests fluids que ascendeixen calents reaccionen al trobar una roca encaixant amb contingut carbonàtic, en aquest cas les calcàries argiloses i calcosquists del Devonian, les calcàries noduloses del Silurià Superior i les calcàries i bretxes intercalades de l'Ordovicià Superior. La reacció produeix un intercanvi elemental entre la roca intrusiva i l'encaixant, que resulta en una entrada de fluids càlcics i/o magnesiàns cap a la roca ígnia, i d'altra banda l'entrada d'un fluid silícic portador de metalls segons l'acidesa del magma i la possible remobilització, cap a la roca encaixant carbonatada. Aquests fluids reaccionen amb els minerals presents i els alteren generant noves paragènesis. L'skarn que es produeix en la roca ígnia s'anomena endoskarn, i el que es produeix pel reemplaçament mineral en la roca carbonatada mitjançant fluids silícics s'anomena exoskarn. (Fig. 14)

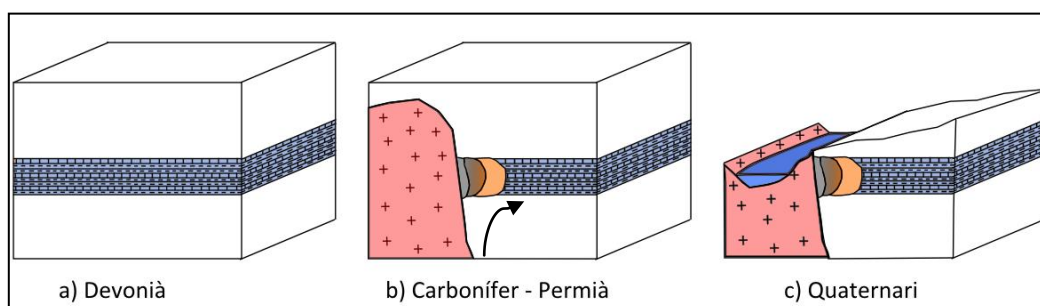


Fig. 14: Model conceptual de la formació de l'skarn de la Mina del Socau i situació actual.

Els skarns de les Serres Costaneres Catalanes formen majoritàriament exoskarns que no presenten una preferència per un carbonat regional. Es troben dipòsits d'skarn en aquesta regió encaixats en materials del Cambro-Ordovicià, en el cas de Gualba al Montseny, o a l'Ordovicià superior com l'skarn d'Hortsavinyà, al Montnegre (Ayora C., Soler A., Melgarejo J.C., 1990), o el propi skarn del Socau, cal destacar que la mineralogia de la Mina del Socau és força única en comparació, perquè a diferència dels altres dipòsits, no presenta sulfurs ni altres calcosilicats, només òxids (magnetita), granats i epidota, tot i trobar-se una antiga explotació de sulfurs a uns pocs quilòmetres al nord-oest, a Aiguafreda.

Tot i que la observació de les roques encaixants del Paleozoic al camp no revela importants roques carbonàtiques que poguessin ser hostes per l'skarn, sí que és cert que al final de les dues galeries que transcorren en paral·lel, la principal i la segona ramificació, i que acaben a la mateixa distància a l'interior de la mina, presenten una gran quantitat de carbonats precipitats per les infiltracions d'aigües que han abordat la mina des que es va excavar. Aquests carbonats es presenten ara com a crostes blanques gruixudes sobre la roca i ens els estanyols formats a dins la mina. Encara i no haver trobat la roca calcària que hauria d'haver encaixat l'skarn, podem prendre com a evidència de la presència de carbonats aquestes crostes que trobem just al final de les galeries, i que es corresponen amb la desaparició de les mineralitzacions de granatita; segurament el punt més allunyat al que hauria arribat l'efecte metasomàtic dels fluids hidrotermals sílicics d'exoskarn. Els carbonats, en tot cas, haurien estat les intercalacions de calcàries i bretxes en les pissarres, tal i com està descrita la litologia.

Un cas molt similar a la mineralització de la Mina del Socau ha estat descrit al rift d'Oslo (Bjørn Jamtveit, 1991), on es descriu la precipitació de granats grossulària i andradita a partir d'una solució hidrotermal associada amb el metamorfisme de contacte d'aquest rift, on s'ha

proposat que aquests granats provenen d'un sistema d'skarn. S'explica com a la fase I i III en el procés de formació del skarn és comú que els granats presentin una macla dodecaèdrica i anisotropia, amb les mateixes espècies presents que en el cas de la mineralització del Socau, com a una mescla binària dels dos granats, però que en el cas que ens ocupa presenta l'andradita com un *end-member*, que tenen tendència a mostrar-se isòtrops en contraposició a la grossulària zonada.

En comptes d'un skarn es pot proposar un model d'skarnoid, definit primerament com aquelles roques formades per metamorfisme de carbonats impurs, margues o carbonats silícics rics en metalls (Zharikov, 1970), i posteriorment alguns autors ho defineixen com a roques on han tingut lloc processos al·loquímics sobre carbonats impurs (margues, alternances pelítico-carbonatades, etc.) i associats a una intrusió ígnia (Fonteilles i Machairas, 1968; Van Marcke, 1983; Cheilietz, 1984) que s'adaptaria millor al cas de la Mina del Socau.

Per similitud amb les mineralitzacions esmentades, i tenint en compte el context geològic del Socau, podem establir la història geològica de la zona que englobi un model genètic, detallant-ne els diferents fluxos que han acabat caracteritzant la seva mineralogia: (Fig. 15)

- 1- Sedimentació dels materials Paleozoics, des del Cambrià fins el Devonià, en un context regional de conca marina, de materials turbidítics, lutítics i carbonàtics de plataforma.
- 2- Durant el Carbonífer comença la deformació produïda per la dinàmica de col·lisió de plaques per generar Pangea, i que resulta en l'orogènia Herciniana o Varisca. D'aquesta manera tots els materials Paleozoics sedimentats pateixen una deformació
- 3- És també durant el Carbonífer quan intrueixen els granitoides que també constitueixen el basament de les Serres Costeres Catalanes com un gran batòlit que s'estén des de la Costa Brava fins a Tarragona. En relació amb aquest gran cos igni també intrueixen dics de textura porfírica al Permià Inferior, que indueixen un metamorfisme de contacte als materials Ordovicians, i on es formen les cel·les hidrotermals que produeixen els skarns.
- 4- El primer fluid hidrotermal, degut a la intrusió del dic a la Mina del Socau, hauria estat ric en alumini, que junt amb el calci aportat pels sediments hauria provocat la precipitació de granats en fase grossulària, amb les macles dodecaèdriques i la zonació que com ja s'ha esmentat és possible que sigui indicatiu d'un skarn en fase I. Aquest fluid hauria patit algunes petites variacions en quan a composició que hagués generat la zonació d'aquesta grossulària, enriquint-se lleugerament en ferro en algunes de les bandes de creixement. Posteriorment, hauria arribat un segon fluid, o pols de fluid, aquest cop ric en ferro, que hauria aprofitat les grossulàries preexistents per a nuclear-se. A més aquest fet s'evidencia perquè l'andradita no presenta les característiques cristal·logràfiques, macla i anisotropia, ni la zonació pròpia de la grossulària, a més de créixer seguint una orientació de les cares diferent a la mostrada per la grossulària. Després el fluid es va enriquir en ferro i va caure en temperatura, generant la magnetita en un estadi d'skarn retrogradant, evidenciat també per la presència d'epidota dins els granats. Per últim hauria entrat un fluid molt empobrit en metalls, gairebé només silícic que hauria deixat el quars intersticial entre la granatita, englobant també fragments i petits cristalls de granat.
- 5- Finalitzada l'Orogènia Herciniana, el Paleozoic va quedar deformat i el relleu es va erosionar durant el Permià. Això va produir que tota la seqüència triàsica, formada per Bundsandstein, Muschelkalk i Keuper, reposés sobre el Sòcol Paleozoic per una discontinuïtat angular, en un moment de distensió tectònica que va generar conques marines i que es va estendre fins el Juràssic.

- 6- Durant el Cretàcic va començar una etapa d'emersió dels materials de conques degut a la implicació de la Placa Africana, que va empènyer la Placa Ibèrica contra la Placa Europea, en un principi de deformació que culminaria amb els Pirineus.
- 7- Passat el Mesozoic, al Terciari la compressió tectònica va deixar pas a una distensió. Aquesta distensió va suposar la formació de nous sistemes concals en forma de depressions que es van inundar per l'entrada del mar. En aquest cas, degut a la Falla del Vallès-Penedès, que amb un comportament lítric, va patir un salt de falla molt important, i que va començar a erosionar els materials mesozoics i paleozoics pel canvi de nivell de base, reomplint aquestes noves conques de materials miocènics i fins als quaternaris actuals, i fent emergir per l'erosió els cossos porfírics amb skarns associats. També, degut a la proximitat i infiltració de les aigües meteòriques, es van poder formar els òxids i hidròxids de ferro que apareixen a la mineralització, així com la calcita recristal·litzada dins la mina.

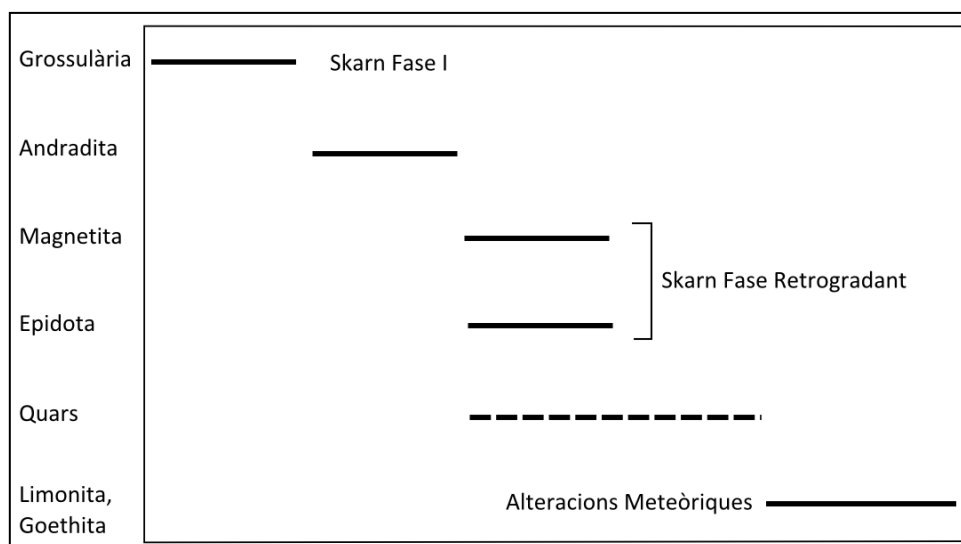


Fig. 15: Esquema de la paragénesis mineral de la Mina del Socau.

6. Conclusions

La mineralització de la Mina del Socau està encaixada en pissarres de l'Ordovicià Superior, intercalades amb quarzites, calcàries i bretxes, i està constituïda per una seqüència de granats de la sèrie grossulària-andradita (grandita), junt amb magnetita massiva, epidota i quars. Aquestes característiques mineralògiques i de roques encaixants corresponen amb un jaciment mineral de tipus skarn o skarnoid. L'skarn del Socau es diferencia d'altres eskarns que es troben per les Serres Costaneres Catalanes degut a les poques espècies minerals presents, on en comparació tots els altres skarns o skarnoids disposen d'una mineralogia més variada, comptant silicats càlcics i magnèsics, alteracions hidratades tipus amfíbol, o sulfurs. Els granats del rift d'Oslo, que comparteixen unes característiques gairebé homònimes, mostren isotropia, zonació i macla polisintètica, tal i com ho fan els granats formats pel primer fluid a la Mina del Socau, i és un molt bon comparatiu per comprendre el model de dipòsit amb el que es tracta.

Aquests granats d'Oslo pertanyen a un dipòsit d'skarn, que ha servit com a una primera indicació sobre la descripció genètica de la mineralització de la Mina del Socau.

Es proposa un model genètic per la mineralització del Socau relacionada amb un metamorfisme de contacte provocat per les intrusions porfíriques sobre els carbonats dels materials ordovícics que acaba resultant en la formació dels skarns. Per tant, la mineralització es pot entendre com a un sistema mineral de silicats de reemplaçament amb magnetita mitjançant uns fluids hidrotermals que provenen del contacte d'un cos igni intrusiu amb materials carbonatats i pelítics, que formen finalment un dipòsit d'skarnoid.

7. Bibliografía

- Rossman GR, Aines RD (1991) *"The hydrous components in garnets: Grossular-hydrogrossular"*. American mineralogist, Volum 76: pàgines 1153-1164.
- Bell DR, Rossman GR (1992) *"The distribution of hydroxyl in garnets from the subcontinental mantle of southern Africa"*. Contributions to Mineralogy and Petrology, Volum 111: pàgines 161-178".
- Grew ES, Locock AJ, Mills SJ, Galuskin IO, Galuskin EV, Halenius U (2013) *"Nomenclature of the garnet supergroup"*. American Mineralogist, Volum 98: pàgines 785-810.
- Bjørn Jamtveit (1991) *"Oscillatory zonation patterns in hydrothermal grossular-andradite garnet: Nonlinear dynamics in regions of immiscibility"*. American Mineralogist, Volum 76: pàgines 1319-1327.
- Joan Carles Melgarejo (1997) *"Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada, Vol. 1"*. Pàgina 365.
- Ayora C., Soler A., Melgarejo J.C. (1990) *"The Hercynian ore deposits from the Catalan Coastal Ranges"*. Acta Geológica Hispánica, Volum 25, número 1-2, pàgines 65-73.
- Enrique P., (1981) *"Late-tectonic granitoids of the Catalan Coastal Ranges"*. IGCP project número 5, pàgines 44-52.
- Anna Gómez (2005) *"Inventari Patrimoni Cultural de Figaró-Montmany"*. Ajuntament de Figaró-Montmany, Diputació de Barcelona.

8. Agraïments:

Dedico els agraïments d'aquest treball a aquelles persones que m'han ajudat durant tot el procés i durada que ha tingut aquest treball, per haver-me aguantat fins a les més ínfimes preguntes sobre morfologia mineral i haver-me donat un cop de mà sempre que ho he necessitat li agraeixo a la Mercè Corbella la seva atenció i dedicació amb mi. De la mateixa manera vull agrair al Dídac Navarro que sempre ha trobat temps per prestar-me uns minuts per tal d'ajudar-me a entendre algun concepte i sobretot a fer moure el programari de geologia. També vull agrair la col·laboració del Departament de Petrologia del Museu de Ciències Naturals de Barcelona, i als membres de l'institució en general, per haver-me pogut prestar les mostres de làmines primes de les roques encaixants, i haver-me donat un cop de mà si mai tenia algun dubte sobre cristal·lografia o mineralogia, en els primers compassos de l'investigació.

9. Annex

- Descripció de mostres de mà:

La mostra (MS002) presenta granat de color groc verdós de morfologia inapreciable i ratlla blanca. D'altra banda també s'observa magnetita de color gris molt fosc a negre i ratlla també negra, amb una granulometria criptocristal·lina i que presenta propietats magnètiques. Aquesta magnetita està tacada d'alteracions en forma d'òxids i hidròxids de ferro amb ratlles ocres i vermelloses, supergènics degut a l'exposició meteòrica. Les textures que presenta es poden definir per un dominant bandejat fi heterogeni entre els criptocristalls de magnetita i els microcristalls de granat de lluïssor vítria, amb bandes de 0,5 a 1 mil·límetre. En molts llocs s'observa com el bandejat de granat ha estat reemplaçat o erosionat pel fluid que contenia la magnetita, ja que es presenta com si fracturés les bandes i les travessés, o bé englobés en part aquests microcristalls deixant-los flotant en una matriu composta pel mineral opac, tot seguint la orientació del bandejat. Aquest bandejat pot tenir una estreta relació amb la roca metamòrfica de l'ordovicià que encaixa la mineralització.

La mostra (MS005) es presenta com un bandejat entre el granat de lluïssor vítria i la magnetita, molt similar a la mostra (MS002) però amb una variació textural notòria. En aquest cas el bandejat és més gruixut, i presenta força heterogeneïtat. Encara que respecta la orientació de manera general, les bandes s'envaeixen les unes a les altres en el que es podria dir que ha estat una entrada més ràpida del fluid mineralitzant.

La mostra (MS003) és un agregat de granats de fins a 1,5 mil·límetres, en mineralogia única, de color groguenc a caramel, lluïssor vítria i ratlla blanca. Són cristalls idiomòrfics i subidiomòrfics que presenten una morfologia rombododecaèdrica amb deformacions en alguns cristalls que es reflecteixen com allargaments dels rombes a les cares. Presenten una alineació en la direcció de la deformació allà on es mostra.

La mostra (MS004) és molt similar a la mostra (MS003), on tenim un agregat de cristalls de granat observables de fins a 1,5 mil·límetres de color groguenc a caramel i altra cop amb morfologia rombododecaèdrica i amb deformacions en alguns cristall. També, alternativament, s'observa algun cristall amb morfologia de trapezoedre amb rombododecaedre dominant.

La mostra (MS008) es tracta d'un agregat massiu de magnetita, que en aquest cas sí presenta alguns microcristalls octaèdrics interpenetrats de fins a 0,75 mil·límetres. El conjunt es presenta cobert per alteracions supergèniques d'òxids i hidròxids de ferro. Com afegit, a la mostra (MS023) s'observa algun cristall rombododecaèdric amb octaedre dominant d'aquest mateix mineral.

- Descripció de làmines primes:

Com ja s'ha comentat les mostres a partir de les quals s'ha fet làmines primes han estat la (MS001, MS011, MS025). (Fig. 16)



Fig. 16: Làmines (MS001, MS011 i MS025). Vistes amb nícols paral·lels a dalt i nícols encreuats a baix.

La làmina corresponent a la mostra (MS001) es presenta com una granatita amb cristalls euhedrals amb una marcada zonació juntament amb una macla polisintètica dodecaèdrica. El conjunt dels cristalls estan tacats per minerals d'alteració supergènics. Hi trobem quars reomplint els intersticis entre els agrupaments de granats. Es presenta com a masses anhedrals, fracturades i amb deformació interna que genera una extinció ondulant, en algun punt en disposició de ventall. Aquesta deformació interna del quars no afecta als granats. Dins d'aquesta massa de quars que s'adapta als forats entre l'agregat de granats també hi trobem de manera singular algun cristall de mica biotita. Examinant amb atenció arribem a la conclusió de que l'entrada de quars ha estat posterior al refredament dels granats per dos factors: en alguns punts els granats es mostren arrencats de l'agregat i arrossegats que a més presenten les vores dissoltes, i a més s'observen petites fractures entre granats reomplertes pel quars. A dins dels propis granats, a prop del nucli, s'observen microcristalls aïllats i difícils de detectar

d'un mineral en hàbit prismàtic, curt en els cristalls més grans i llarg i fi en els més petits, i tonalitat verdosa, amb una sèrie d'alineacions en el sentit de màxim desenvolupament. Per desgràcia la quantitat i mida d'aquests cristalls no ha estat suficient per poder dur a terme un anàlisi químic, però per les característiques i la seva posició dins els granats, es tracta d'inclusions de silicats d'alteració hidratats, que és la epidota ($\{Ca_2\}\{Al_2Fe^{3+}\}(Si_2O_7)(SiO_4)O(OH)\}$), mineral molt comú en granats que estan essent alterats. En els contactes entre els granats i la magnetita s'aprecia una tinció vermellosa de la vora dels granats, fruit dels òxids despresos per la pròpia magnetita alterada.

La làmina (MS011) presenta granats en granulometria més gran que en permeten un estudi més detallat. La zonació dels granats s'aprecia amb molta claredat, i a més es poden observar dues fases diferents de granat, una sobreposant-se a l'altra. La fase interna, on s'observa la zonació així com la macla polisintètica dodecaèdrica, és a més anisòtropa, fet que un principi pot conduir fàcilment a error i intentar interpretar-ho com si es tractés d'una vesuvianita, que pot ser similar però que en realitat té una explicació que mostrarem més tard en la discussió. La segona fase de granat sí que és isòtropa en nícols creuats, i en nícols paral·lels presenta una coloració groguenca que el distingeix molt bé de l'altra fase incolora. Una característica que ens indica que les dues fases han crescut en moments diferents és el fet de que el granat de la segona fase, envoltant el granat de la primera fase, creix seguint una geometria que no es correspon amb la del primer granat, fent que eixos del dodecaedre del primer granat acabin projectats en les cares del segon granat; a més, tampoc presenta ni zonació, ni la macla polisintètica dodecaèdrica, mostrant un canvi brusc per un límit abrupte. Alguns dels granats estan flotant en una matriu prima de magnetita, o bé estan units en petits agregats dispersos per la làmina, encara que per la mida dels cristalls, també pot ser que els que veiem flotant aquí en realitat estiguessin agregats en 3D.

La mostra (MS025) és interessant per acabar de corroborar que la fase mineral opaca és metàl·lica i que es correspon a magnetita, gràcies a l'aplicació de llum reflectida. S'observa amb claredat com la magnetita, sense vores de gra gaire visibles en primer terme, es defineixen gràcies als òxids de ferro que apareixen en les zones de debilitat de la magnetita que són les cares de l'octaedre.

Les dues làmines pertanyents al pòfir vermell (PR-15621-LP01, PR-15622-LP01) mostren en general un alt grau d'alteració en tota la seva mineralogia en una textura heterogranular. Els cristalls de feldspat dominen amb la granulometria més gran, alguns que arriben gairebé a 1 centímetre d'allargada. Trobem també quars subhedral i anhedral que presenta fractures i textures de dissolució que donen formes globoses i ameboides. A part, també s'observen pseudomorfs de clorita i serpentina reemplaçant miques generalment idiomòrfiques. La matriu microcristal·lina i els feldspats alterats són els que presenten les tincions vermelles.